

рубки подачи вторичного воздуха были установлены смесительные элементы - лопаточные завихрители.

Второй цикл испытаний был проведен с 19 по 20 апреля 1999г

Горелка и с указанными доработками мягко и легко розжигалась, устойчиво работала во всем диапазоне регулировок, не создавала заметного шума. При этом на мощности (теплопроизводительности) 5...8 Гкал/ч, что соответствует потреблению природного газа до 1400 м³/ч, выброс продуктов недожога: C_nH_m - практически отсутствовал, CO - составлял 10...30 мг/м³, при допустимой норме 50 мг/м³. Выброс NO составлял 60...80 мг/м³, при существующем для горелок такой мощности уровне 180...250 мг/м³.

Таким образом, увеличение мощности горелки на порядок привело к некоторому увеличению выброса оксидов азота. Однако применение предложенной схемы проведения процесса и при большой мощности позволило достичь весьма малых уровней выброса оксидов азота. Выброс NO при необходимости может быть снижен увеличением теплоотвода от продуктов сгорания первичной зоны, для чего необходимы дополнительные теплообменные поверхности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. И в л и е в А. В. Способ сжигания топлива. Патент РФ № 2078284 на изобретение. МПК F23C 11/00. Зарегистрирован 27.04.97г., приоритет от 10.04.95г
2. И в л и е в А.В. Разработка экологически безопасной газовой горелки схемы "богатая-бедная" смесь. // Вестник СГАУ. Сер.: Процессы горения, теплообмена и экология тепловых двигателей. Вып. 1 -Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 1998, -С.146...149.

УДК 532.5

КОЭФФИЦИЕНТ ЗАПОЛНЕНИЯ НА СРЕЗЕ СОПЛА ВИХРЕВЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Карышев Ю.Д.

Самарский институт инженеров железнодорожного транспорта

Представителями вихревых элементов являются центробежные форсунки, топki циклонного типа и т. д. Для организации процесса горения необходимо знать структурное состояние компонентов топлива, в частности его

сепарацию и угол конуса распыла. Одним из факторов, влияющих на эти параметры и входящие в расчетные соотношения является коэффициент заполнения на срезе (в выходном сечении) сопла $\varphi_{me} = 1 - r_{me} / r_c$, где r_{me} и r_c — радиус сопла и внутренней границы потока на его срезе соответственно.

При определении φ_{me} необходимо учитывать обстоятельство, на которое впервые указал В.И.Скобелкин. В выходном сечении давление в потоке должно не зависеть от радиуса и быть равным давлению в окружающей среде. Следовательно, в цилиндрическом сопле выходного сечения происходит преобразование избыточного центробежного давления в скоростной напор. Большинство исследователей принимается, что это преобразование приводит к увеличению только аксиальной (поступательной) составляющей скорости C_z и ее неравномерному распределению по сечению. Однако преобразование давления приводит не только к изменению аксиальной составляющей скорости C_z , но и к появлению радиальной составляющей C_r . Действительно, так как C_z начинает увеличиваться, то начнет возрастать радиус внутренней границы потока r_m , а это приводит к появлению радиальной скорости C_r . На величине коэффициента расхода преобразование давления в скоростной напор не скажется, так как при этом соблюдается уравнение неразрывности, т.е. расход остается постоянным.

Окружная составляющая скорости C_θ должна подчиняться закону постоянства циркуляции (сохранению кинетического момента)

$$C_\theta r = const. \quad (1)$$

Исходя из изотропности пространства, примем гипотезу о независимости действия, т.е. будем считать, что на изменение составляющих скорости C_z и C_r будет затрачена одинаковая доля энергии преобразованного давления.

Определим закон изменения радиальной скорости по сечению потока. Так как радиальный градиент давления на срезе сопла отсутствует, то уравнение движения элементарного объема идеальной жидкости в радиальном направлении примет вид

$$\frac{dC_r}{dt} = \frac{C_\theta^2}{r} \quad (2)$$

Считая процесс установившимся, а также учитывая окружную и аксиальную симметрию, перепишем

$$C_r \frac{dC_r}{dr} = \frac{C_\theta^2}{r} \quad (3)$$

Примем, что на границе потока r_m внутри сопла радиальная скорость равна нулю. Тогда, проинтегрировав уравнение (3), получим закон изменения радиальной скорости в случае полного использования преобразованного давления

$$C_r^2 = C_{\theta m}^2 \left(1 - \frac{r_m^2}{r^2}\right) \quad (4)$$

Исходя из принятой гипотезы, примем закон изменения радиальной скорости в виде

$$C_r^2 = \frac{l}{2} C_{\theta m}^2 \left(1 - \frac{r_m^2}{r^2}\right), \quad (5)$$

где $C_{\theta m}$ — окружная скорость на внутренней границе потока внутри сопла.

Для определения аксиальной скорости в выходном сечении $C_{z\theta}$, запишем уравнение Бернулли для сечений в глубине сопла

$$\left\{ \frac{P_o}{\rho_o} - \frac{P_h}{\rho_h} \right\} \frac{2k}{k-1} = C_z^2 + C_{\theta m}^2 \quad (6)$$

и на срезе сопла

$$\left\{ \frac{P_o}{\rho_o} - \frac{P_h}{\rho_h} \right\} \frac{2k}{k-1} = C_{z\theta}^2 + C_{\theta\theta}^2 + C_r^2 \quad (7)$$

Давление P_h и плотность ρ_h на срезе сопла и на внутренней границе потока P_m и ρ_m равны этим параметрам в окружающей среде. P_o , ρ_o — соответственно параметры торможения, а k — показатель адиабаты. Приравняв правые части в (6) и (7), получим

$$C_{z\theta}^2 = C_z^2 + C_{\theta m}^2 - C_{\theta\theta}^2 - C_r^2. \quad (8)$$

Используя уравнение (1), согласно которому

$$C_{\theta\theta} = \frac{C_{\theta m} \cdot r_m}{r},$$

и соотношение (5), приведем (8) к виду

$$C_{zs} = \frac{2C_z^2 + C_{\partial n}^2}{2} \left[1 - \frac{C_{\partial n}^2 \cdot r_m^2}{r^2 (2C_z^2 + C_{\partial n}^2)} \right] \quad (9)$$

Учитывая, что соотношение [1]

$$\frac{C_{\partial n}^2}{C_z^2} = \operatorname{tg}^2 \lambda_m = \frac{2(1-\varphi)}{\varphi}, \quad (10)$$

где λ_m — угол закрутки потока на внутренней границе, φ — коэффициент заполнения внутри сопла, окончательно запишем

$$C_{zs}^2 = \frac{C_z^2}{\varphi} \cdot \left[1 - \frac{(1-\varphi) \cdot r_m^2}{r^2} \right]. \quad (11)$$

Теперь из выражения расхода, записанного через параметры в глубине и на срезе сопла, следует

$$C_z \int_{r_m}^{r_c} \rho r dr = \rho_m \int_{r_{ms}}^{r_c} C_{zs} r dr \quad (12)$$

Как показано в работе [1], левую часть уравнения (12) можно привести к виду

$$C_z \int_{r_m}^{r_c} \rho r dr = \frac{1}{2} C_z \cdot r_c^2 \cdot \varphi \cdot \rho_m \cdot N, \quad (13)$$

где N определяется выражением

$$N = 1 + \frac{1}{k-1} \left(\pi^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right) \left(1 - 2 \frac{1-\varphi}{\varphi} \ln \frac{1}{\sqrt{1-\varphi}} \right) \cdot \frac{2(1-\varphi)}{2-\varphi}, \quad \pi_m = \frac{P_0}{P_m}. \quad (14)$$

Правая часть уравнения (12) приводится при интегрировании к результату

$$\rho_m \int_{r_{ms}}^{r_c} C_{zs} r dr = \frac{1}{2} \rho_m \cdot r_c^2 \cdot \frac{C_z}{\sqrt{\varphi}} \cdot Z_1. \quad (15)$$

Здесь введены обозначения

$$Z_1 = \sqrt{1-T^2} - \sqrt{1-\varphi_{ms}} \cdot \sqrt{(1-\varphi_{ms})-T^2} - T^2 \cdot \ln \frac{1 + \sqrt{1-T^2}}{\sqrt{1-\varphi_{ms}} \cdot \sqrt{(1-\varphi_{ms})-T^2}}, \quad (16)$$

$$T = 1 - \varphi. \quad (17)$$

Приравнивая (13) и (15), получим трансцендентное уравнение для определения φ_{ms} .

$$\varphi \sqrt{\varphi} \cdot N = Z_1 \quad (18)$$

Надо отметить, что правая часть в уравнении (18) по внешней записи совпадает с записью правой части уравнения, полученного Л.А.Клячко [2] для несжимаемой жидкости и без учета C_r , но величина T в нем определяется выражением

$$T = (1 - \varphi) \sqrt{\frac{2}{2 - \varphi}} \quad (19)$$

В таблице приведены результаты расчета зависимости $\varphi_{ms} = f(\varphi)$ по формуле (18) при $N=1$ и обозначены φ_{1ms} , т.е. без учета сжимаемости, а также по формуле, полученной Л.А.Клячко, без учета C_r ,

$$\frac{\varphi \sqrt{\varphi}}{\sqrt{2 - \varphi}} = Z_1 \quad (20)$$

и обозначены φ_{2ms} . Там же приведены результаты расчета по (18) и для сжимаемой жидкости при $\pi_m = 1,666$ ($\beta = P_m / P_o = 0,6$) и обозначены φ_{1ms}^* .

Как видно из таблицы, значения φ_{1ms} больше значений φ_{2ms} , причем эта разница уменьшается с увеличением коэффициента φ от 19% при $\varphi = 0,1$ до 4% при $\varphi = 0,9$. Учет сжимаемости приводит к возрастанию расчетных значений коэффициента заполнения на срезе сопла.

Φ	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
φ_{1ms}	0,08	0,163	0,249	0,338	0,431	0,529	0,632	0,743	0,863
φ_{1ms}^*	0,082	0,170	0,264	0,364	0,469	0,579	0,692	0,799	0,899
φ_{2ms}	0,067	0,138	0,213	0,293	0,379	0,473	0,576	0,694	0,830

ВЫВОДЫ:

1. При учете радиальной скорости расчетные значения коэффициента заполнения на срезе сопла φ_{ms} возрастают.
2. Учет сжимаемости также приводит к возрастанию расчетных значений β_{ms} , хотя и не очень значительным (порядка 4%).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Карышев Ю.Д. К теории центробежной форсунки с учетом сжимаемости // Известия вузов. Сер. Машиностроение. - №11. - С.84-87.
2. Распыливание жидкостей / Бородин В.А. и др. - М.: Машиностроение, 1977. - 262с.

УДК 621.43.056.001.5

МОДУЛЬНЫЕ ВИХРЕВЫЕ ГОРЕЛКИ. ОСОБЕННОСТИ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА И РАСЧЁТ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Ковылов Ю.Л., Матвеев С.Г., Серенков Н.К.

Самарский государственный аэрокосмический университет, г. Самара

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Практически все способы снижения содержания NO_x в продуктах сгорания, несмотря на многообразие их конструктивных оформлений, в принципе решают две основные задачи:

1. Снижение температуры в зоне химических реакций.

2. Снижение времени пребывания реагентов в высокотемпературной зоне.

Подготовка топливо-воздушной смеси в камерах сгорания (КС) ГТД при сжигании и жидкого, и газообразного топлива представляет собой диффузионный процесс, начинающийся в первом случае с испарения жидких капель. В этих условиях, даже при обеспечении средней по зоне горения температуры ниже некоторого порогового уровня, невозможно избежать её повышения в микро- и макронеоднородностях, где обязательно наличие поверхностей или объёмов с величиной коэффициента избытка воздуха $\alpha = 1$.

Считается, что это препятствие можно преодолеть переходом от сжигания гетерогенных ТВС или диффузионных струй горючего газа к сжиганию предварительно подготовленных гомогенных смесей $\alpha > 1$. Если даже не затрагивать чрезвычайно трудный вопрос проскока пламени в зону подготовки смеси в такой схеме организации горения, то и в этом случае останется ряд достаточно сложно решаемых задач:

1. "Бедная" зона горения наиболее пригодна для однорежимных КС и может создать дополнительные трудности на переходных режимах (запуск,